



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jani Petteri Niemi  
**HENKILÖKOHTAISTEN  
VEDENPUHDISTUSMENETELMIEN  
TESTAAMINEN**

Tekniikka ja liikenne  
**2010**

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

**TIIVISTELMÄ**

Tekijä	Jani Niemi
Opinnäytetyön nimi	Henkilökohtaisten vedenpuhdistusmenetelmien testaaminen
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	41 + 1 liitettä
Ohjaaja	Pekka Stén

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia henkilökohtaiseen käyttöön tarkoitettujen vedenpuhdistusmenetelmien toimivuutta puhdistaa juomakelpoista vettä. Työhön valittiin yhdeksän markkinoilta yleisesti saatavaa menetelmää. Menetelmien lisäksi kokeiltiin itse valmistetun hiekkasuodattimen ja veden kiehauttamisen tehokkuutta tehdä vedestä juomakelpoista. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös tutustua muutamaan veden laadun määrittämisessä käytettävään analyysiin.

Kaikille menetelmille tehtiin koliformisten bakteereiden poistokykyä mittaava koe ja suodattaville laitteille myös ammoniumin ja humuksen poistoa mittaavat kokeet. Humuksen poistokykyä tutkittiin kolmella humuksen poistumista indikoivalla analyysillä. Kemiallisesti vettä desinfioiville menetelmille tehtiin vapaan kloorin pitoisuuden määrittämisen.

Yhtä laitetta lukuun ottamatta, kaikki markkinoilta hankitut menetelmät poistivat vedestä koliformiset bakteerit saavuttaen Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 mukaisen laatusuosituksen. Hiekkasuodatin pystyi poistamaan koliformisia bakteereita vain osittain. Humuksen poistoa indikoivien analyysien perusteella vain yksi suodattavista laitteista pystyi poistamaan humusta merkittävästi. Ammoniumia pystyi merkittävästi poistamaan kaksi laitetta. Kemiallisesti desinfioivien menetelmien eroavaisuuksia aktiivisen kloorin pitoisuudessa voidaan pitää suurina.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Jani Niemi
Title	Testing personal water treatment methods
Year	2010
Language	Finnish
Pages	41 + 1 Appendices
Name of Supervisor	Pekka Stén

---

The purpose of this thesis was to study how personal water treatment methods purify water to make it potable. The second purpose of this work was to study common water quality analyses used in specifying the quality of the water. Nine generally accessible methods were chosen. In addition, we tested the abilities of a self made sand filter and boiling the water to make the water potable.

All the methods were tested to learn their capacity to remove coliform bacteria. Tests on filtering methods were made to learn their capacity to remove ammonium and humus. Three indicative analyses were made to study the capacity of the filtering methods to remove humus. The methods disinfecting water chemically were specified for the determination of free chlorine.

All but one of the methods removed all coliform bacteria from water and by doing so they reached the recommendations set by The Ministry of Social Affairs and Health in commandment 461/2000. The sand filter was able to remove coliform bacteria only partially. Out of all analyses indicating the removal of humus only one was able to remove humus significantly. Two methods enabled the removal of ammonium significantly. The differences between chemically disinfecting methods in free chlorine concentrations were notable.

---

Keywords	water treatment, drinking water
----------	---------------------------------

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

COD	Kemiallinen hapenkulutus (Chemical Oxygen Demand)
FIA	Virtausinjektioanalyysi (Flow Injection Analysis)
pmy	pesäkettä muodostavaa yksikköä
UV	Ultravioletti
TOC	Orgaaninen kokonaishiili (Total Organic Carbon)

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT.....	3
KÄYTETYT LYHENTEET.....	4
ALKUSANAT.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 TYÖN TAVOITTEET.....	10
3 LUONNONVESIEN LAATU JA JUOMAVEDEN LAATUVAATIMUKSET..	11
4 TUTKITTAVAKSI VALITUT PUHDISTUSMENETELMÄT.....	13
4.1 Valintaperusteet.....	13
4.2 LifeSaver® .....	13
4.3 Katadyn Combi.....	14
4.4 MSR® HyperFlo microfilter.....	15
4.5 MSR MIOX® Purifier.....	16
4.6 Steripen Traveller.....	17
4.7 Katadyn Micropur Forte MF 1T.....	18
4.8 Aquaclear.....	18
4.9 Vedenpuhdistustabletti (Scotmas Limited).....	18
4.10 Aquatabs .....	18
4.11 Hiekkasuodatin.....	19
4.12 Keittäminen.....	20
5 ANALYYSIMENETELMÄT.....	21
5.1 Bakteerien poistokyky.....	22
5.2 Ammoniumin poistokyky.....	22
5.3 Humuksen poistuminen.....	23
5.3.1 COD <sub>Mn</sub> .....	23
5.3.2 TOC.....	24
5.3.3 Spektrofotometrinen tutkimus.....	24
5.4. Aktiivisen kloorin mittaaminen.....	24
6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	26

6.1 Bakteerien poistokyky.....	26
6.1.1 Ensimmäinen koejärjestely.....	26
6.1.2 Toinen koejärjestely.....	27
6.1.3 Hiekkasuodattimen koejärjestelyt.....	28
6.1.4 Kineettinen koejärjestely.....	29
6.2 Ammoniumin poistokyky .....	31
6.3 Humuksen poistuminen.....	31
6.3.1 COD <sub>Mn</sub> .....	32
6.3.2 TOC.....	33
6.3.3 Spektrofotometrinen tutkimus.....	33
6.4 Aktiivisen kloorin mittaaminen.....	34
7 LAITTEIDEN ARVIOINTI.....	36
7.1 Katadyn Combi.....	36
7.2 MSR® HyperFlo microfilter.....	36
7.3 MSR MIOX® Purifier.....	37
7.4 Steripen Traveller.....	37
7.5 LifeSaver® .....	37
7.6 Katadyn Micropur Forte MF 1T.....	38
7.7 Aquaclear.....	38
7.8 Vedenpuhdistustabletti (Scotmas Limited).....	38
7.9 Aquatabs.....	39
7.10 Hiekkasuodatin.....	39
7.11 Keittäminen.....	39
8 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	40
9 YHTEENVETO.....	41
LÄHDELUETTELO.....	42
LIITE.....	46

## ALKUSANAT

Tämän työn tavoitteena oli tutkia henkilökohtaisten vedenpuhdistusmenetelmien kykyä tuottaa juomakelpoista vettä. Tutkimuksessa keskityttiin tutkimaan menetelmien vaikutusta poistaa bakteereita, humusta ja ammoniumioneja. Työn taustalla oli henkilökohtainen kiinnostukseni asiaan.

Opinnäytetyöni on laadittu Vaasan ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyöksi. Työtä on ohjannut lehtori Pekka Stén. Työ tehtiin Vaasan ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa, jossa apuna toimivat Pekka Stén, laboratorioanalyytikko Eija Iivari, laboratorioinsinööri Mika Korpi sekä ympäristötekniikan opiskelijat Sonja Heikkilä ja Tero Koski.

Haluan kiittää kaikkia työn toteuttamisessa mukana olleita henkilöitä avusta ja panostuksesta työhön.

Vaasassa 14.4.2010

Jani Niemi

## 1 JOHDANTO

Yleisesti tiedetään juomaveden olevan suurin yksittäinen aiheuttaja vatsataudeille. Luonnosta saadun käsittelemättömän pintaveden nauttiminen juomavetenä sisältää aina mikrobiologisen riskin ja vesi voi myös sisältää kemiallisia epäpuhtauksia. Pintaveden suurin pilaantumisen uhka, juomakelpoisuuden kannalta, on ulostesaastumisessa. Ihmisten lisäksi tasalämpöiset eläimet, nisäkkäät ja linnut voivat levittää ihmiselle haitallisia mikrobeja ulostaessaan veteen. Jos vettä halutaan nauttia käsittelemättä luonnosta, on tunnettava kyseisen paikan koko valuma-alueen kuormitus. Näin varmistetaan, että mahdollista ulostesaastumista tai muuta saastumista ei ole tapahtunut. Varmistaminen on käytännössä täysin mahdotonta. Eläinlääketieteen tohtori Ari Hörman havaitsi väitöskirjansa ”*Assessment of the microbial safety of the drinking water produced from surface water under field conditions*” tutkimuksessa, että maamme pintavesistä peräti 41 prosenttia sisältää ainakin yhtä tunnettua taudinaiheuttajaa. (Hörman 2005, 40)

Myös talousvedessä voi ongelmatilanteiden yhteydessä esiintyä merkittävä riski. Tällainen ongelmatilanne syntyi Nokialla marraskuun lopulla 2007, jolloin puhdistettua jätevettä pääsi talousvesiverkostoon. Jäteveden mukana talousvesiverkostoon pääsi runsas määrä erilaisia taudinaiheuttajia.

(Onnettomuustutkimuskeskus)

Juomaveden puhtaus voi tulla ongelmaksi myös matkaillessa ulkomailla. Kaikkialla maailmassa käsiteltyä juomavettä ei ole saatavilla tai talousveden juomakelpoisuus ei ole samalla tasolla kuin Suomessa. Tämä johtuu tavallisesti puhdistuskapasiteetin puutteellisuudesta tai jakeluverkoston heikkoudesta.

Markkinoilla on myytävänä erilaisia henkilökohtaisia vedenpuhdistusmenetelmiä juomakelpoisen veden tuottamiseen ongelmatilanteissa sekä retkeiltäessä luonnossa. Menetelmät voidaan luokitella kolmeen luokkaan; suodattavat menetelmät, kemiallisesti desinfioivat menetelmät sekä UV-valolla desinfioivat



menetelmät. Tämän työn tarkoituksena oli selvittää erilaisten laitteiden soveltuvuutta puhdistaa vesi juomakelpoiseksi. Juomaveden laatuvaatimuksena käytettiin Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 mukaisia talousveden laatuvaatimuksia. (Soveltamisopas Talousvesiasetukseen 461/2000)

## 2 TYÖN TAVOITTEET

Työn tavoitteena oli saada käsitys erilaisten henkilökohtaiseen käyttöön tarkoitettujen vedenpuhdistusmenetelmien toiminnasta ja soveltuvuudesta puhdistamaan juomakelpoista vettä. Tutkimuksessa keskityttiin selvittämään eri menetelmien kapasiteettia poistaa bakteereita, ammoniumioneja ja humusta. Ammoniumionien poistokykyä käytettiin indikaattorina arvioitaessa menetelmien kykyä poistaa virtsaa vedestä.

Työn tavoitteena oli myös tutustua veden laadun määrittämisessä käytettäviin analyysimenetelmiin. Analyysimenetelmät perustuivat soveltuvien osien SFS-standardissa kuvattuihin menetelmiin.

### 3 LUONNONVESIEN LAATU JA JUOMAVEDEN LAATUVAATIMUKSET

Luonnosta ei koskaan löydy täysin puhdasta vettä juotavaksi. Käsittelemätön vesi sisältää käytännössä aina jotakin ylimääräistä. Vedessä voi esiintyä esimerkiksi pieniä hiukkasia, humusta, orgaanista saastetta, myrkyllisiä aineita tai mikrobiologisia parametreja, kuten bakteereja tai viruksia. ( Binnie & Kimber 2009, 6-10)

Suomen ympäristöhallinnon seurannan ja velvoitetarkkailun Järvien, jokien ja merialueen vedenlaatu 2000–2003 -tutkimuksen mukaan Suomen joista vedenlaadultaan erinomaisia tai hyviä on 42,7 %:a ja järvistä vedenlaadultaan erinomaisia tai hyviä 80,2 %:a. Erinomaiset ja hyvälaatuiset joet ja järvet sijoittuvat Suomen pohjoisosaan sekä Manner-Suomeen. Heikkolaatuisimmat joet ja järvet sijaitsevat Suomen rannikon tuntumassa. (Järvien, jokien ja merialueen vedenlaatu 2000-2003, Vedenlaatukartta 2000-2003)

Väitöskirjassa *Assessment of the microbial safety of the drinking water produced from surface water under field conditions* tehdyssä tutkimuksessa Ari Hörman havaitsi 57 näytteen 139 näytteestä (41%) sisältävän ainakin yhtä taudinaiheuttajaa. Tutkimuksen mukaan ei ole myöskään merkittävää eroa mistä joesta tai järvestä taudin aiheuttajaa sisältävä positiivinen näyte on otettu. Vuodenaikojen vaikutusta vedenlaatuun varsinkaan pienemmissä vesialueissa ei voi kieltää, mutta vuodenaikojen riippumatta vesistöissä on ainakin sulanveden aikaan mahdollisesti merkittävä määrä taudinaiheuttajia. (Hörman 2005, 40)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 talousveden mikrobiologisten laatuvaatimusten (enimmäistiheys) mukaan *Escherichia coli*-bakteereita ei saa esiintyä juomavedessä (0 pmy/100 ml) ja koliformisien bakteereiden tavoitteellinen taso on 0 pmy/100 ml. Asetuksen mukaan juomaveden ammoniumin (NH<sub>4</sub>) enimmäispitoisuus on 0,50 mg/l. Juomaveden sameus, väri,

haju ja maku on käyttäjän hyväksyttävissä. (Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000)

Suomen kaivojen veden laatua tutkittaessa koliformisten bakteereiden mediaaniksi on saatu rengaskaivoista 6 pmy/ 100 ml ja porakaivoista 1 pmy/100 ml. Kyseisen tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että iso osa Suomen kaivoista ei täytä Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 mukaista tavoitteellista tasoa koliformisten bakteereiden enimmäistiheydelle (0 pmy/100 ml). (Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000, Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta)

## **4 TUTKITTAVAKSI VALITUT PUHDISTUSMENETELMÄT**

### **4.1 Valintaperusteet**

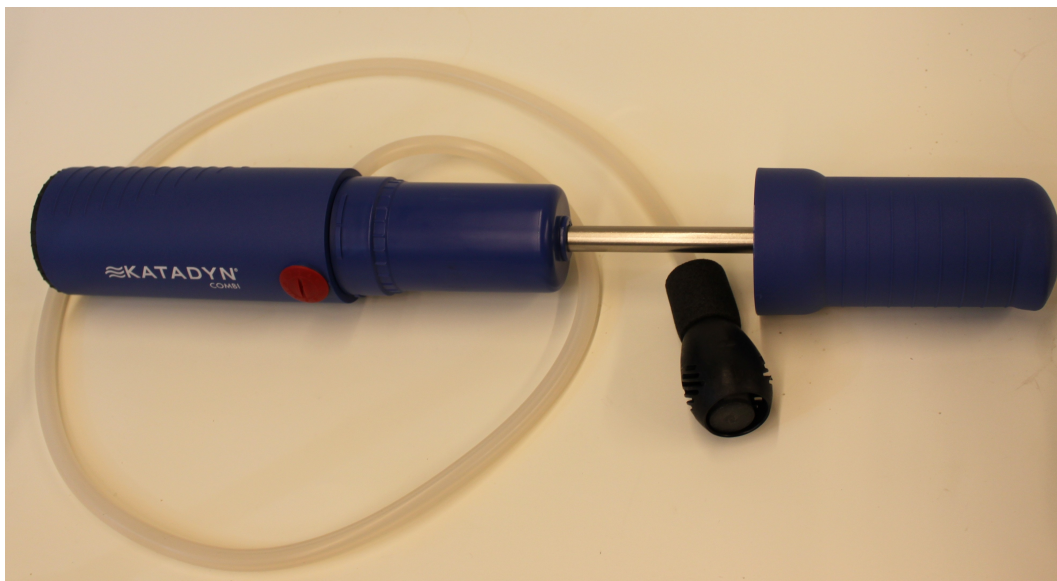
Tähän työhön pyrittiin valitsemaan mahdollisimman monta toisistaan eroavaa tapaa käsitellä vettä juomakelpoiseksi. Markkinoilla on saatavissa suodattavia laitteita, kemiallisia puhdistajia sekä sähköllä toimivia laitteita, kuten UV-puhdistimia ja suolasta desinfioivia klooriyhdisteitä elektrolysoimalla valmistavia laitteita. Markkinoilta saatavien laitteiden lisäksi tehtiin kokeellisena laitteena hiekkasuodatin ja kokeiltiin myös veden kiehauttamisen tehokkuutta desinfioida vettä.

### **4.2 LifeSaver®**

LifeSaver puhdistaa vedestä bakteerit, virukset (myös H1N1), parasiitit, sieneliöt ja muut vedessä elävät mikrobiologiset patogeenit. Puhdistus perustuu 15 nanometrin kokoluokkaa oleviin reikiin, jotka suodattavat kaikki edellä mainitut haitalliset eliöt. Pullo puhdistaa 4000 litraa makeaa vettä (750 ml/min). FALSAFE™-teknologia estää puhdistusvirheet: kun puhdistuspatruuna on likainen, pullo ei enää toimi. Käyttökunnon tarkastusta ei tarvita. Patruunan vaihdolla LifeSaver® on taas käyttökunnossa. (LifeSaver® Bottle user guide)

### 4.3 Katadyn Combi

Katadyn Combin (kuva 1) imuletkun päässä on esisuodatin, joka estää kooltaan isompien partikkelien pääsyn puhdistimen sisään. Puhdistusprosessissa Katadyn Combi käyttää mikrosuodatinta (hopealla käsitelty keraaminen suodatin). Valmistajan mukaan se kykenee vähentämään bakteereja (99,9999% *Klebsiella terrigena*) sekä alkueläin-rakkuloita (99.9% giardiaa ja cryptosporidiumia). Mikrosuodattimen lisäksi Katadyn Combissa on aktiivihilisuodatin. Katadyn Combin suodatinelementin kapasiteetti riippuu veden laadusta. Keraamisen suodattimen kapasiteetiksi valmistaja ilmoittaa 50 000 litraa ja aktiivihillen kapasiteetiksi 200 litraa. Keraamisen suodattimen ja aktiivihillen pystyy korvaamaan uudella. (Katadyn Combi manual)



Kuva1. Katadyn Combi

#### 4.4 MSR® HyperFlow Microfilter

HyperFlow microfilter (kuva 2) on suodatin, joka käyttää puhdistamiseen viimeisintä ontelokuituteknologiaa tehdäkseen vedenpuhdistimesta mahdollisimman pienen ja helpon käyttää. Ontelokuitusuodattimen huokosten koko on 0.2 mikrometriä. HyperFlow Microfilter suodattaa 3 litraa vettä minuutissa ja sen suodattimen suodatuskapasiteetti on 1000 litraa. (MSR® HyperFlo microfilter Owner's Manual)



Kuva 2. MSR® HyperFlow microfilter

#### 4.4 MSR MIOX® Purifier

MIOX® Purifier (kuva 3) tekee epäluotettavasta lähteestä saadun veden mikrobiologisesti turvalliseksi juoda ja varastoida. Käyttäen tavallista suolaa, makeaa vettä ja sähkövirtaa, se tekee patentoidulla teknologiallaan pienen määrän hapettavaa ainetta, joka kaadetaan puhdistettavaan veteen. Se tuhoaa mikro-organismit tehokkaammin kuin kloori tai jodi. ( MSR MIOX® Purifier Instructions)



Kuva 3. MSR MIOX® Purifier



#### 4.5 Steripen Traveller

Steripen Traveller (kuva 4) on sauvamainen ultraviolettivalolla desinfioiva vedenpuhdistin. UV-desinfiointi on tehokas tapa tappaa bakteereja. Steripen Traveller desinfioi puolisen litraa vettä muutamassa minuutissa. Steripen Travellerin käyttö on yksinkertaista. Nappia painetaan kerran, jos vettä on litra, jonka jälkeen lamppu laitetaan veteen. Tämän jälkeen UV-valo syttyy pysyen päällä vaadittavan ajan. Lampun sammuttua käsittely on valmis. (Steripen Traveller User Guide)



Kuva 4. Steripen Traveller

#### **4.7 Katadyn Micropur Forte MF 1T**

Katadun Micropur Forte MF 1T on vedenpuhdistustabletti. Tabletin vaikuttavana aineena on natriumdikloori-isosyanuraatti (NaDCC 4,5 mg/tabletti) ja hopeaionit ( $\text{Ag}^+$  0,1 mg/tabletti). Liitteenä 1 on natriumdikloori-isosyanuraatin rakennekuva ja siitä käytettyjä nimiä. Katadyn Micropur Forte MF 1T oikea klooripitoisuus eliminoi nopeasti ja luotettavasti bakteerit, virukset ja protozoonit. Samalla hopeaionit suojaavat vettä uudelleensaastumiselta jopa 6 kuukautta. Yhden tabletin vaikutusaika yhteen litraan vettä on 30 minuuttia bakteereille ja viruksille. Siimaeliöille vaikutusaika on kaksi tuntia. (Katadyn Micropur Forte MF 1T käyttöohjeet)

#### **4.8 Aquaclear**

Aquaclear on Galpharmin valmistama vedenpuhdistustabletti, jonka vaikuttavana aineena on natriumdikloori-isosyanuraatti (NaDCC 8,5 mg/tabletti). Yksi tabletti puhdistaa litran kankaan läpi suodatettua vettä 30 minuutissa. (AQUACLEAR Galpharm käyttöohjeet)

#### **4.9 Vedenpuhdistustabletti (Scotmas Limited)**

Scotmas Limitedin valmistaman vedenpuhdistustabletin vaikuttavana aineena on natriumdikloori-isosyanuraatti (NaDCC 33 mg/tablettia). Yksi tabletti puhdistaa litran vettä. Vesi on juomakelpoista 30 minuutin kuluttua. (Vedenpuhdistustabletti (Scotmas Limited) käyttöohjeet)

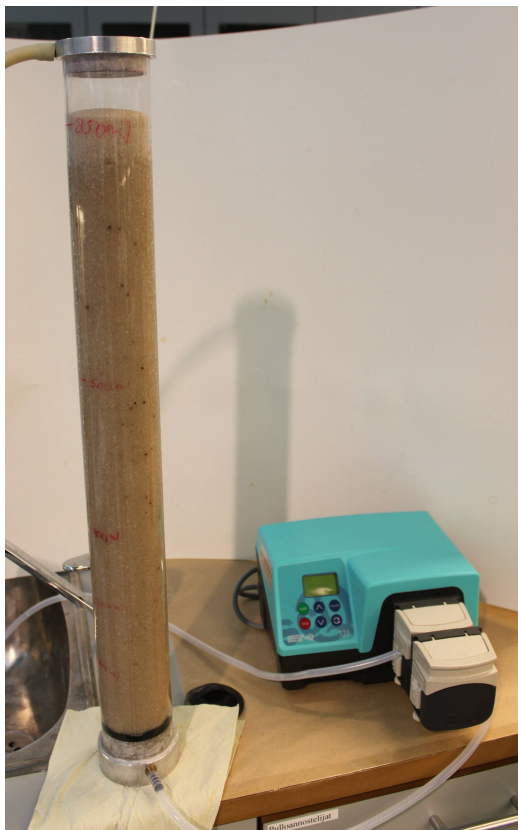
#### **4.10 Aquatabs**

Aquatabs on kupliva tabletti, joka tappaa mikro-organismit vedestä estäen koleran, lavantaudin, punataudin ja muiden veden välityksellä saatavien tautien saamisen. Tabletin vaikuttavana aineena on natriumdikloori-isosyanuraatti

(NaDCC 17 mg/tablettia). Yksi tabletti puhdistaa 0,6 litraa vettä. Vesi on juomakelpoista 10 minuutin kulutta. (Aquatabs käyttöohjeet)

#### 4.11 Hiekkasuodatin

Kokeellisena menetelmänä haluttiin kokeilla hiekkasuodatusta. Hiekkasuodatin (kuva 5) rakennettiin läpinäkyvästä putkesta. Hiekkana suodattimessa toimi kvartsihiekkä (0,5-1,0 mm). Hiekkapatsaan korkeus oli 560 mm ja halkaisija 63 mm. Suodattimessa olevan hiekan massa oli 2,4 kg. Vettä pumpattiin letkupumpulla hiekkapatsaasta läpi alhaalta ylös nopeudella 10 litraa tunnissa.



Kuva 5. Hiekkasuodatin

#### **4.12 Keittäminen**

Veden desinfiointi keittämällä on vanhin ja hyvin toimiva tapa varmistua juomaveden mikrobiologisesta puhtaudesta. Desinfiointi keittämällä on riippuvainen ajasta. Pistokuumennus ei ole varma tapa, vaan desinfioinnin varmistamiseksi vettä kannattaa kiehuttaa muutama minuutti. Keittämisen desinfiointivaikutus ei ole riippuvainen veden sameudesta.

## 5 ANALYYSIMENETELMÄT

### 5.1 Bakteerien poistokyky

Bakteerien poistumista arvioitiin käyttäen indikaattorina koliformisten bakteereiden poistumista. Koliformiset bakteerit voivat lisääntyä ympäristössä, kun taas *Enterobacteriaceae* -heimoon kuuluvan *Escherichia coli*-bakteeri voi tulla veteen vain tasalämpöisten eläinten, nisäkkäiden, lintujen tai ihmisten ulosteesta. (Binnie ja Kimber 2009, 22-23)

”Tutkimusmenetelmä perustuu standardiin SFS 3016. Standardin käyttötarkoitus on määritellä veden koliformisten bakteerien lukumäärää lämpötilassa 36 °C. Menetelmä perustuu kalvosuodatukseen ja kalvon inkubointiin valikoivalla kasvualustalla.” (SFS-käsikirja 94 Suomen standardisoimisliitto SFS RY)

Kasvualustana käytettiin LES Endo agar-kasvualustaa. LES Endo agar -kasvualusta on valikoiva eli sallii ainoastaan koliformisten bakteereiden kasvaa muodostaen vihreitä metallinhohtoisia pesäkkeitä.

Bakteerikokeiden yhteydessä käytettiin laimennusvettä, joka valmistettiin lisäämällä tislattuun veteen  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  -liuosta ja  $\text{MgSO}_4$  -liuosta. Laimennusveden pH säädetään arvoon 7.0 (tarkkuus  $\pm 0,1$ ) 0,34 M NaOH-liuoksella. Kyseinen laimennusvesi vaikutti mahdollisimman vähän bakteereiden käyttäytymiseen laimennuksissa.

Lähtövettä valmistettiin lisäämällä laimennusveteen Pättin jäteveden puhdistamolta haettua puhdistettua jätevettä. Pättin puhdistamon veden koliformisten bakteereiden pitoisuus vaihteli välillä 100 000 – 200 000 pmy/ 100 ml. Koliformisten bakteereiden pitoisuutta 200 pmy/100 ml voidaan pitää hyvin tavallisena pitoisuutena luonnonvesissä. (Hörman 2005, 90)

Lähtövettä käsiteltiin vedenpuhdistusmenetelmillä. Jokaisen menetelmän käsittelemästä vedestä sekä lähtövedestä otettiin kolme rinnakkaista näytettä. Näytteille tehtiin kalvosuodatus ja kalvo inkuboitiin valikoivalla kasvualustalla. Kasvualustoilta laskettiin mahdollisten pesäkkeiden havaintomäärää. Vertailemalla käsitellyn veden ja lähtöveden koliformisten bakteereiden muodostaneiden pesäkkeiden määrää toisiinsa, saatiin tulos käsittelyn tehokkuudesta.

## **5.2 Ammoniumin poistokyky**

Ammoniumin poistokykyä tutkittiin, koska se indikoi vedenpuhdistusmenetelmien kykyä puhdistaa virtsaa vedestä. Virtsaa ei sisällä varsinaista uhkaa veden juomakelpoisuudelle, vaan sen katsottiin olevan eettisesti epämukava osa juomakelpoista vettä. Ammoniumipitoisuutta vedessä pidetään myös eräänlaisena likaantumisindekaattorina. Korkea ammoniumipitoisuus vedessä kertoo lannoitepitoisten tai teollisuuden ja asutuksen jätevesien valumavesien tai orgaanisten aineiden hajoamistuotteiden pääsystä vesistöön. (Ammoniumtyyppi)

Ammoniumin puhdistuskykyä mitattiin FIA-laitteella. Laitteen nimi on Fiastar 5000. Laitteen omaa ohjetta ammoniumin mittaamiseen käytettiin työn suorittamisessa.

Ammoniumioneja sisältävä liuosnäyte injektoidaan kantajavirtaan, joka yhdistyy natriumhydroksidivirtaan. Syntyvässä alkalisisä virrassa muodostuu kaasumaista ammoniakkia, mikä kulkeutuu indikaattorivirtaan kaasua läpäisevän kalvon läpi. Tämä indikaattorivirta sisältää happopohjaisten indikaattoreiden sekoituksen, joka reagoi ammoniakin kanssa. Tämän tuloksena on värinmuutos, jota voidaan mitata fotometrisesti. Koska näytteitä sisältävä virta on fyysisesti erillään indikaattorivirrasta, näyte voi värjäytyä. (FOSS TECATOR Application Note)

### 5.3 Humuksen poistuminen

Kaikkialla, missä orgaaninen aine hajoaa, syntyy humusta. Liuenneen orgaanisen aineen määrä vaihtelee erilaisissa vesiekosysteemeissä ympäri maailmaa puolen milligramman ja 50 milligramman välillä litrassa vettä. (Kulovaara 1997)

Humuksen poistumista tutkittiin kolmella analyysimenetelmällä. Analyysimenetelmät eivät suoraan kerro humuksen poistumista käsittelyn yhteydessä, vaan ne indikoivat sitä.

#### 5.3.1 COD<sub>Mn</sub>

Kemiallinen hapen kulutus COD (Chemical oxygen demand), kuvaa vedessä olevan hapettuvan aineen määrää. Kemiallinen hapen kulutus määritetään kaliumpermanganaatin (KMnO<sub>4</sub>) kulutuksena happamassa liuoksessa standardin SFS 3036 mukaan: Vesinäyte tehdään rikkihapolla happamaksi ja siihen lisätään hapettimeksi kaliumpermanganaattia. Näytettä pidetään 20 minuuttia kiehuvaassa vedessä, jolloin orgaanisten ja muiden kemiallisesti hapettuvien aineiden hapettuminen tapahtuu. Samalla pelkistyy osa permanganaatista. Jäljellä olevan permanganaatin määrä mitataan jodometrisesti. Permanganaatin kulutusta käytetään COD<sub>Mn</sub>-arvon laskemiseen. Permanganaatti hapettaa vain osan orgaanisista aineista, eivätkä esimerkiksi aminohapot hapetu. Permanganaatti hapettaa myös humusta, joten ruskeiden vesien COD-arvo on korkeampi kuin kirkkaiden. (SFS 3036)

Näytteen kemiallinen hapen kulutus lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$\text{COD}_{\text{Mn}} = (V_{\text{nollanäyte}} - V_{\text{näyte}}) \cdot C_{\text{tios}} \cdot 800 \cdot f \quad (1)$$

jossa	COD <sub>Mn</sub>	näytteen kemiallinen hapen kulutus, mg/l
	V <sub>näyte</sub>	näytteen titraukseen kulunut

	natriumtiosulfaattiliuoksen tilavuus, ml
$V_{\text{nollanäyte}}$	nollanäytteen titraukseen kulunut
	natriumtiosulfaattiliuoksen tilavuus, ml
$C_{\text{tios}}$	natriumtiosulfaattiliuoksen konsentraatio, mol/l
kerroin 800	puolet hapen (O) moolimassa milligrammoiksi muunnettuna jaettuna näytetilavuudella
f	laimennuskerroin

### 5.3.2 TOC

Orgaaninen kokonaishiili (TOC) muodostuu kovalenttisesti sitoutuneista orgaanisista hiiliyhdisteistä. Näytteen TOC-pitoisuus määritetään TOC-analysaattorilla kokonaishiilen (TC) ja epäorgaanisen hiilen (IC) erotuksena  $\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$ .

TOC-analysaattorilla kokonaishiili ja epäorgaaninen hiili määritetään polttamalla näytettä, jolloin näytteen hiili hapettuu hiilidioksidiksi. Polttoputkessa tapahtuvaa hapettumista tehostetaan hapetuskatalysaattorilla. Hiilidioksidin määrä detektoidaan ei-dispersiivisellä infrapunadetektorilla. (SFS-EN 1484)

### 5.3.3 Spektrofotometrinen tutkimus

Kokeen tarkoituksena on mitata absorption avulla laitteiden käsittelemän veden absorbanssin eroavaisuutta lähtöveden absorbanssiin. Koe suoritettiin UV- VIS-spektrometrillä aallonpituudella 254 nm. Aallonpituudella 254 nm mitatun absorbanssin tiedetään korreloivan humuspitoisuuden kanssa.

### 5.4 Aktiivisen kloorin mittaaminen

Kokeen tarkoituksena on selvittää aktiivisen kloorin määrä spektrofotometrisesti.



Kloori reagoi N,N-dietyyli-p-fenyleenidiamiinin kanssa muodostaen punaisen yhdisteen. Värin intensiteetti mitataan UV-VIS-spektrometrillä aallonpituudella 525 ja tulokset luetaan kalibrointikäyrältä, joka on tehty jodiliuksilla. Jodi reagoi samoin DPD-liuoksen kanssa kuin aktiivinen kloori ja pitoisuudeltaan tarkkoja jodiliuksia on helppo valmistaa. (SFS EN ISO 7393-2).

## 6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tuloksia tarkastellaan analyysimenetelmän mukaisesti.

### 6.1 Bakteerien poistokyky

Tässä työssä tuodaan esille edustavat kokonaisuudet, joita voidaan pitää luotettavina.

#### 6.1.1 Ensimmäinen koejärjestely

Tehtiin lähtövesi, jota käsiteltiin jokaisella menetelmällä tarvittavan määrän noudattaen tarkkaan menetelmien ohjeita. Käsitelystä vedestä otettiin kolme rinnakkaista näytettä, jotta varmistuttiin näytteenoton tarkkuudesta. Lähtövedestä otettiin myös kolme näytettä, jotta saatiin tarkka tieto lähtöveden koliformisten bakteereiden tiheydestä. Ensimmäisen koejärjestelyn lähtövesi sisälsi noin 100 pmy/100 ml koliformista bakteeria. Tämän katsottiin olevan hyvä pitoisuus ensimmäiseen testiin (taulukko 1).

Taulukko 1. Koliformisten bakteereiden tiheys lähtövedessä ja eri menetelmillä käsiteltyssä vedessä ensimmäisessä koejärjestelyssä

Menetelmä:	Lähtö (pmy/100ml)	Tulos (pmy/100ml)		
		1.näyte	2.näyte	3.näyte
LifeSaver®	100	0	0	0
Katadyn Combi	100	0	0	0
MSR® HyperFlow microfilter	100	0	0	0
MSR MIOX® Purifier	100	0	0	0
Steripen Traveller	100	0	0	0
Kadyn Micropur Forte MF 1T	100	0	0	0
Aquaclear	100	0	0	0
Keittäminen	100	0	0	0

Taulukosta 1 nähtävien tulosten mukaan kaikki testatut menetelmät suoriutuivat

kokeesta täydellisesti ja saavuttivat Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 mukaisen talousveden mikrobiologisten laatusuositusten tavoitetason koliformisille bakteereille (0 pmy/100 ml).

### 6.1.2 Toinen koejärjestely

Seuraavaksi katsottiin tärkeäksi nostaa koliformisten bakteerien pitoisuus lähtövedessä arvoon 200 pmy/100 ml, jotta saataisiin parempi kuva menetelmien toimivuudesta poistaa koliformisia bakteereita luonnonkaltaisissa pitoisuuksissa. Käsittely suoritettiin menetelmien ohjeiden mukaisesti. Käsitellyistä vesistä sekä lähtövedestä otettiin kolme rinnakkaista näytettä, jotta saavutettiin vaadittava tarkkuus näytteenotossa (taulukko 2).

Taulukko 2. Koliformisten bakteerien tiheys lähtövedessä ja eri menetelmillä käsitellyssä vedessä toisessa koejärjestelyssä

Menetelmä:	Lähtö (pmy/100ml)	Tulos (pmy/100ml)		
		1.näyte	2.näyte	3.näyte
LifeSaver®	200	Liikaa	Liikaa	Liikaa
Katadyn Combi	200	0	0	0
MSR® HyperFlow microfilter	200	0	0	0
MSR MIOX® Purifier	200	0	0	0
Steripen Traveller	200	1	0	1
Kadyn Micropur Forte MF 1T	200	0	0	0
Aquaclear	200	0	0	0
Vedenpuhdistustabletti (Scotmas Limited)	200	0	0	0
Aquatabs	200	0	0	0

Taulukosta 2 nähtävien tulosten mukaan kaikki menetelmät paitsi Steripen Traveller ja LifeSaver suoriutuivat kokeesta täydellisesti ja ne saavuttivat Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 mukaiset talousveden mikrobiologisten laatusuositusten tavoitetason koliformisille bakteereille (0pmy/100 ml).

Steripen Travellerin tuloksien poikkeavuus voidaan katsoa olevan selitettävissä

sen toimintatavan alttiudesta virheille. Steripen Traveller desinfioi vettä UV-valolla ja on erittäin riippuvainen kirkkaasta vedestä, jossa ei ole suurempia partikkeleita. Desinfiointi voi jäädä vajaaksi, jos vedessä olevat partikkelit estävät UV-valon kulkeutumisen desinfioitavaan kohteeseen. Kyseinen yhden pesäkkeen kasvu kahdessa alustassa kolmesta voi myös olla mahdollisen kontaminoitumisen syytä.

LifeSaverin toisen koejärjestelyn tulokset olivat yllättäviä. Kaikkien kolmen rinnakkaisen näytteen mukaan LifeSaverin käsittelemä vesi sisälsi enemmän koliformisia bakteereita kuin lähtövesi. Koejärjestely toistettiin muutaman kerran, ettei koejärjestelyssä olisi virhettä. Koejärjestelyiden toistojen tulokset pysyivät samankaltaisina, mikä sulki pois virheen koejärjestelyssä. LifeSaverilla päädyttiin suodattamaan suolaliuosta, mikä oli puhdas koliformisista bakteereista. Koe antaa ymmärtää LifeSaverin kontaminoivan puhtaaseen veteen  $12 \cdot 10^6$  pmy/100 ml koliformista bakteeria. LifeSaverin tuloksille ei löydetty selitystä. Mahdollisesti kyseisessä LifeSaver-yksilössä on rakenteellinen valmistusvirhe.

### **6.1.3 Hiekkasuodattimen koejärjestelyt**

Hiekkasuodattimella suoritettiin koliformisten bakteereiden poistavuutta mittaava koe. Koejärjestelyssä suodatettiin hiekan läpi kuusi litraa koliformisia bakteereita sisältävää lähtövettä, ottaen näytteitä käsittelystä vedestä tasaisin väliajoin suodatuksen aikana. Koejärjestely toistettiin kolme kertaa. Koejärjestelyiden välillä hiekka desinfioitiin lämpökaapissa (noin 180 °C), jotta hiekka ei sisältäisi koliformisia bakteereita. Hiekkasuodattimeen käytettävä laitteisto käsiteltiin koliformisista bakteereista vapaaksi. Koejärjestelyiden alussa suodatettiin hiekan läpi puhdasta vettä, josta otettiin näytteet, jotta varmistuttiin alkutilanteen puhtaudesta.

Ensimmäisessä koejärjestelyssä koliformisten bakteereiden tiheys oli 600 pmy/100 ml. Suodatuksen jälkeen vesi sisälsi 35 pmy/100 ml koliformisia

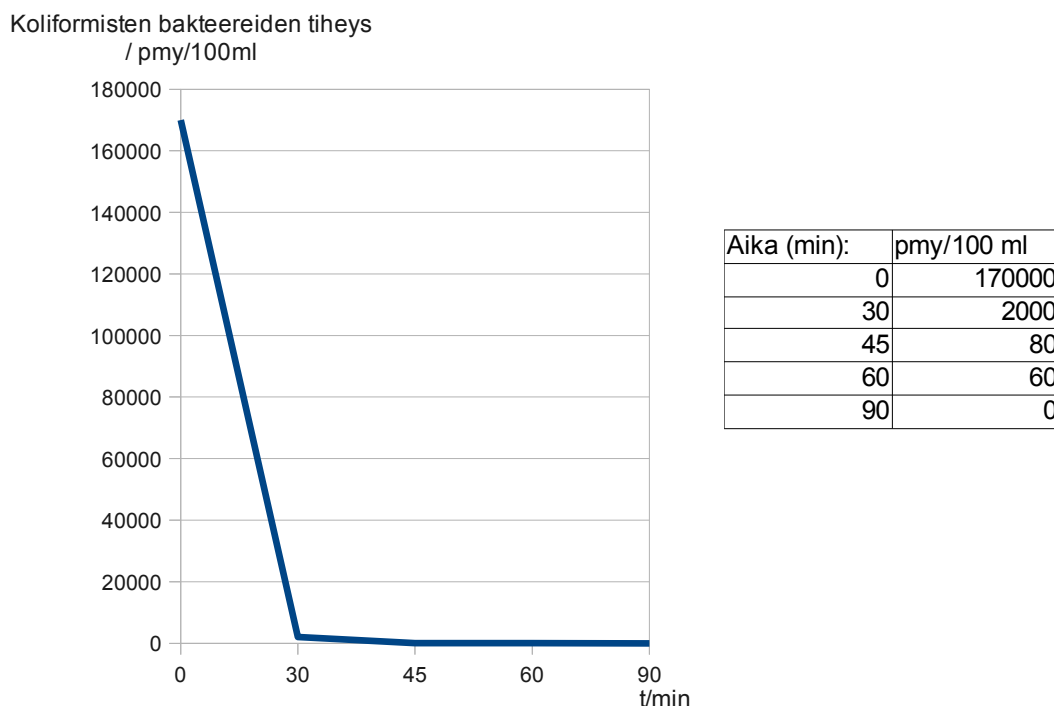
bakteereita. Ensimmäisen koejärjestelyn tuloksista voidaan katsoa hiekkasuodattimen suodattaneen vedestä noin 90 %:a alun koliformisista bakteereista.

Kolmannen koejärjestelyn lähtöveden koliformisten bakteereiden tiheys oli noin 220 pmy /100 ml. Suodatetusta vesistä otetuista näytteistä kasvua havaittiin noin 70 pmy/100 ml. Tuloksia verrattaessa voidaan todeta hiekkasuodattimen poistaneen kolmannessa koejärjestelyssä noin 65 %:a lähtöveden koliformisista bakteereista.

Koejärjestelyiden perusteella voidaan todeta hiekkasuodattimen poistavan koliformisia bakteereita vain osittain. Kyseistä koejärjestelyä olisi voinut jatkaa kierrättämällä kertaalleen käsitelty vesi toisen ja kolmannen kerran hiekkasuodattimen läpi.

#### **6.1.4 Kineettinen koejärjestely**

Kinetiikkakokeella haluttiin selvittää vedenpuhdistustabletin desinfioinnin nopeutta. Vedenpuhdistustabletiksi valittiin Katadyn Micropur Forte MF 1T. Lähtövetenä kokeessa käytettiin Pättin jätevesilaitoksen puhdistamaa vettä laimentamatta sitä. Lähtöveden koliformisten bakteereiden pitoisuus oli todella korkea (170 000 pmy/100 ml). Ensimmäisen koejärjestelyn lähtövesi ei ollut jatkuvassa sekoituksessa. Kokeen alussa vettä sekoitettiin astiaa heiluttamalla. Alun sekoittelun jälkeen tabletin vaikuttava aine sai liueta käsiteltävään veteen rauhassa. 30 minuutin, 45 minuutin, 60 minuutin ja 90 minuutin kohdalla otettiin kolme rinnakkaista näytettä (Kuva 6).



Kuva 6. Bakteeripitoisuuden pieneneminen ajan suhteen

Kokeen tuloksista voi päätellä desinfioinnin olevan todella tehokasta. Samalla saatiin hieman käsitystä kontaktiajasta. Koejärjestely herätti kysymyksiä kontaktiajan riippuvuudesta desinfiointi nopeuteen, jonka vuoksi nähtiin tarpeelliseksi toistaa koe lisäämällä koejärjestelyyn tasainen mekaaninen sekoitus.

Koe toistettiin käyttämällä samaa vedenpuhdistustablettia (Katadyn Micropur Forte MF1T). Koejärjestelyssä otettiin huomioon käsiteltävän veden lämpötila, joka oli kokeen aikana  $21,5 \pm 1$  °C. Käsiteltävä vesi oli tasaisessa sekoituksessa koko kokeen keston. Lähtöveden koliformisten bakteereiden pitoisuus oli noin 35 000 pmy/100 ml. Ensimmäinen kolmen rinnakkaisen näytteen sarja otettiin 15 minuutin kohdalla, jolloin vain yhdessä näytteessä havaittiin koliformisia bakteereja ( 2 pmy/100 ml). 30 minuutin kohdalla otetuissa näytteissä ei havaittu koliformisia bakteereita. Koejärjestely osoitti kontaktiajan lisäksi sekoituksen positiivisen vaikutuksen vedenpuhdistustabletin desinfioivaan vaikutukseen.

## 6.2 Ammoniumin poistokyky

Tehtiin lähtövesi, joka sisälsi ammoniumioneja 19.2 mg/l. Lähtövettä käsiteltiin kaikilla kolmella suodattavalla laitteella sekä MSR MIOX purifierilla. Käsitellystä vedestä tehtiin ammoniumionipitoisuusmääritys (taulukko 4).

Taulukko 4. Ammonium pitoisuus lähtövedessä ja käsitellyissä vesissä

	Tulos (mg/l):
Lähtövesi	19,2
LifeSaver	6,55
Katadyn Combi	7,6
MSR MIOX purifier	18,4
MSR Hyperflow microfilter	18,4

Tuloksista voidaan päätellä LifeSaverin ja Katadyn Combin käsitelvän veden sisältävän noin 40 % lähtöveden ammoniumioni-pitoisuudesta. Molempien MSR:n laitteiden käsittelemien vesien pitoisuuksien eroavaisuudet lähtöveden pitoisuuteen ovat hyvin vähäiset ja käytännössä voidaan katsoa niiden kyvyn poistaa ammoniumiaioneja olevan olemattomat. Ammoniumioni on täysin liuenneena vedessä, mikä käytännössä tarkoittaa, että laitteiden suodattimien huokoskoko on liian suuri suodattamaan sitä. LifeSaverissa ja Katadyn Combissa on suodattimen lisäksi aktiivihiilisuodatin, joka luultavasti adsorpoi ammoniumioneja.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 laatusuosituksen mukaan, juomaveden ammoniumin ( $\text{NH}_4^+$ ) enimmäispitoisuus on 0,50 mg/l. Luonnonvesissä korkeana ammoniumioni pitoisuutena pidetään 1 mg/l, joten koejärjestelyä ammoniumioni pitoisuutta voidaan pitää todella suurena. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000, Ammoniumtyyppi )

## 6.3 Humuksen poistuminen

Humuksen poistokykyä tutkittiin ainoastaan suodattavilla laitteilla.

Lähtövetenä jokaisessa kolmessa tutkimuksessa käytettiin samaa vettä, joten tutkimusten tulokset ovat keskenään vertailtavissa. Lähtövetenä käytettiin tislattua vettä, johon lisättiin 20 mg/l humushappoa. Menetelmien kykyä poistaa humusta arvioitiin kolmella analyysimenetelmällä.

### 6.3.1 COD<sub>Mn</sub>

Menetelmien käsittelemästä vedestä ja lähtövedestä tehtiin COD<sub>Mn</sub>-analyysi (taukko 5.). Seuraava kaava kuvaa LifeSaverin COD<sub>Mn</sub>-arvon laskemisen:

$$\text{COD}_{\text{Mn}} = (1,9 - 1,48) \cdot 0,01 \cdot 800 \cdot \frac{1}{2} = 3,6 \quad (2)$$

Taulukko 5. Lähtöveden ja käsiteltyjen vesien COD<sub>Mn</sub>-arvot

	mg/l
Lähtövesi	9,3
LifeSaver	3,6
Katadyn Combi	6,8
MSR HyperFlow microfilter	8,3

Kokeen tuloksien (taulukko 5) mukaan LifeSaver vaikuttaa hyvin COD<sub>Mn</sub>-arvoon vähentäen sitä huomattavasti. Katadyn Combin käsittelemän veden COD<sub>Mn</sub>-arvo ja MSR HyperFlow microfilterin käsittelemän veden COD<sub>Mn</sub>-arvoa ovat käytännössä sama, koska COD<sub>Mn</sub>-arvon määrittystavan virheherkkyyden takia ei voida todeta kummankaan laitteen vaikuttavan toistaan enemmän COD<sub>Mn</sub>-arvoon. COD<sub>Mn</sub>-arvon määrittelyn virheherkkyys johtuu kaavan erotuskohdasta (1,9-1,48 kaavassa 2).

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 laatusuosituksen mukaan, juomaveden COD<sub>Mn</sub>-arvon enimmäispitoisuus saa olla 5,0 mg/l. LifeSaver pystyi pienentämään COD<sub>Mn</sub>-arvon asetuksen laatusuosituksen alapuolelle lähtöveden COD<sub>Mn</sub>-arvon ollessa noin 9,3. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000)



### 6.3.2 TOC

Orgaanisen kokonaishiilen määrä määritettiin TOC-analyysillä lähtövedestä ja lähtövedestä puhdistusmenetelmillä käsitellystä vedestä. Taulukossa 6 esitellään TOC-arvot.

Taulukko 6. Lähtöveden ja käsitellyiden vesien TOC-arvot

	TOC,mg/l
Lähtövesi	8,36
LifeSaver	3,73
Katadyn Combi	5,72
MSR HyperFlow microfilter	8,94

Kokeen tuloksista (taulukko 6) voidaan päätellä LifeSaverin käsittelemän veden sisältävän noin 40 %:a lähtöveden orgaanisen hiilen kokonaismäärästä. Katadyn Combin puhdistaman veden orgaanisen hiilen kokonaismäärä on 60 %:a lähtöveden määrästä. MSR HyperFlow microfilterin tuloksesta voidaan päätellä, ettei se kykene vaikuttamaan orgaanisen hiilen määrään mitenkään.

Orgaanisen hiilen kokonaismäärälle (TOC) ei anneta enimmäispitoisuutta Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 laatusuosituksessa, vaan todetaan, että orgaanisen hiilen kokonaismäärässä ei saa tapahtua epätavallisia muutoksia. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000)

### 6.3.3 Spektrofotometrinen tutkimus

Mitä suurempi humuspitoisuus tutkittavassa vedessä on, sitä suurempi on absorbanssi aallonpituudella 254 nm. Lähtövedestä sekä laitteiden käsittelemistä vesistä mitattiin absorbanssi. Taulukossa 7 esitellään absorbanssi-arvot.

Taulukko 7. Lähtöveden ja käsiteltyjen vesien absorbanssi-arvot

Näyte	Absorbanssi aallonpituudella 254 nm
Lähtövesi	0,545
LifeSaver	0,207
Katadyn Combi	0,395
MSR HeperFlow microfilter	0,494

Kokeen tulokset osoittivat LifeSaverin käsittelevän veden absorbanssin pienenevän noin 60 %:a lähtöveden absorbanssista. Katadyn Combin käsittelemän veden absorbanssi pieneni noin 25 %:a lähtöveden absorbanssista. MSR HyperFlow microfilterin käsittelemän veden absorbanssi oli vain noin 10 %:a pienempi kuin lähtöveden absorbanssissa. Käsiteltyjen vesien absorbansseja verrattaessa, voidaan todeta ainoastaan LifeSaverin vähentävän humuspitoisuutta merkittävästi.

#### 6.4 Aktiivisen kloorin mittaaminen

Kokeen tarkoituksena oli selvittää aktiivisen kloorin määrä kemiallisesti puhdistavien menetelmien käsittelemässä vedessä. Koe aloitettiin käsittelemällä kullakin menetelmällä litra tislattua vettä ohjeiden mukaisesti. Liuotus astioina toimivat korkilliset litran mittapullot. Aquatabs-tabletti on tarkoitettu liuottaa 0,6 litraa vettä, mutta vertailtavuuden helpottamiseksi Aquatabsin liuotettiin myös litraan tislattua vettä. Tablettien ja MSR MIOX Purifierin liuoksen annettiin liuota veteen kunkin menetelmän ohjeiden mukaisen käsittelyajan. Käsittelyajan noudattaminen nähtiin tärkeäksi, koska haluttiin olla varmoja, että vaikuttava aine on varmasti liennut. Koska käytettiin suljettuja mittapulloja, aktiivisen kloorin määrä ei merkittävästi vääristy, vaikka vaikuttava aine saa liueta kohtuullisen kauan. Käsittelyajan täytyttyä tehtiin kullekin menetelmän näytteelle aktiivisen kloorin määrän määrittäminen.

Taulukko 8. Aktiivisen kloorin pitoisuus vedessä käsittelyajan jälkeen kun litraan vettä on liuotettu yksi annos

	mg/l
MSR MIOX Purifier	8
Aquatabs	12
Katadyn Micropur Forte MF 1T	3
Aquaclear	14
Vedenpuhdistustabletti	20

Kokeen tuloksien (taulukko 8) mukaan eniten aktiivista klooria sisälsi Vedenpuhdistustabletin näyte (20 mg/l). Toiseksi eniten aktiivista klooria sisälsi Aquaclearin tabletin näyte. Aquatabs-tabletti sisälsi 12 mg/litrassa aktiivista klooria, kun se liuotettiin yhteen litraan vettä. Aquatabs-tabletin kohdalla on huomioitava, että se on tarkoitettu käsittelevän vain 0,6 litraa vettä. Aquatabs-tabletin aktiivisen kloorin pitoisuus on 20 mg/litra, kun se liuotetaan 0,6 litraan vettä. Katadyn Micropur Forte MF 1T -tabletтин näyte sisälsi 3 mg/litra aktiivista klooria, mikä oli tutkituista menetelmistä pienin pitoisuus.

Taulukko 9. Aktiivinen kloorin pitoisuus vedessä sekä vaikuttavan aineen määrä tabletissa

	Aktiivinen kloori- pitoisuus vedessä/mg/l	Vaikuttavan aineen määrä tabletissa/mg
Katadyn Micropur Forte MF 1T	3	4,12
Aquatabs	12	17
Aquaclear	14	8,5
Vedenpuhdistustabletti	20	33

Jokaisen tabletin vaikuttavan aineen on kerrottu olevan natriumdikloori-isosyanuraattia. Vaikuttavan aineen määrää verrattaessa (taulukko 9) kokeen tulokseen aktiivisen kloorin pitoisuudesta voidaan todeta, ettei vaikuttavan aineen määrä ja aktiivisen kloorin pitoisuus nouse samassa suhteessa .

## 7 LAITTEIDEN ARVIOINTI

### 7.1 Katadyn Combi

Teoreettisesti Katadyn Combi pystyy suodattamaan keraamisella suodattimellaan kaikki  $0,2\ \mu\text{m}$ :ä suuremmat partikkelit. *Escherichia coli* on sauvabakteeri, jonka keskimääräinen koko on noin  $1.1 - 1.5\ \mu\text{m}$  leveä ja  $2.0 - 6.0\ \mu\text{m}$  pitkä. *E.coli* on kooltaan Katadyn Combin suodattimen reikäkokoa suurempi, minkä vuoksi on oletettavaa, että suodatus on täydellistä. Katadyn Combissa on myös aktiivihiili-suodatin, joka adsorpoi suodatettavasta vedestä siihen kuulumattomia aineita. Katadyn Combi suoriutui kokeiden mukaan koliformisten bakteereiden poistosta ilman minkäänlaista ongelmaa. Samaa kertovat Retki-lehden testi ja Ari Hörmannin väitöskirjan testi. (Hörmann 2005, 182. Purovettä raikkaampaa 2007, 12. Willey 1996, 40.)

FIA-testi osoitti Katadyn Combin poistavan ammoniumia 60 %:a lähtöveden pitoisuudesta. Humuksen poistokykyä indikoivien analyysien perusteella voidaan todeta Katadyn Combin poistavan humusta vain kolmasosan lähtöveden pitoisuudesta.

### 7.2 MSR® HyperFlow microfilter

HyperFlow microfilterin ontelokuitusuodatin kykenee suodattamaan  $0,2\ \mu\text{m}$  suuremmat partikkelit. Katadyn Combin suodattimen reikien koko on samaa luokkaa HyperFlow microfilterin kanssa, joten niiden on oletettava pystyvän samankaltaisiin tuloksiin kokeissa. HyperFlow microfilter suoriutui koliformisten bakteereiden poistosta ilman vaikeuksia. Ammoniumin tai humuksen poistoa indikoivien testien tulosten mukaan HyperFlow microfilter-suodatin ei kykene poistamaan kumpaakaan.

### 7.3 MSR MIOX® Purifier

MIOX® Purifierin tuottama liuos desinfioi testien mukaan lähtöveden koliformisista bakteereista tehokkaasti. Tulokset olivat Retki-lehden testin kanssa samankaltaiset. (Purovettä raikkaampaa 2007, 12)

Aktiivisen kloorin määrittämisen mukaan MIOX® Purifierin tuottama aktiivisen kloorin pitoisuus vedessä oli 8 mg/l, kun siihen on lisätty MIOX® Purifierin tekemää liuosta ohjeiden mukaisesti. MIOX® Purifierin aktiivisen kloorin määrä oli kokeen toiseksi pienin.

### 7.4 Steripen Traveller

Steripen Travellerin veden desinfiointi koliformisista bakteereista onnistui kohtalaisesti. Toisessa koejärjestelyssä kahdessa kolmesta näytteessä oli yksi pesäkettä muodostava yksikkö. Tämä osoitti Steripen Travellerin olevan altis käyttäjän virheille käsiteltäessä vettä. Steripen Travellerin veden desinfioinnin varmistamiseksi UV-valon täytyy tavoittaa koko steriloitavan veden määrä. Oikein käytettynä Steripen Traveller desinfioi moitteettomasti veden. Tästä kertoo A & L Laboratory Inc. tekemä tutkimus Steripenin tehokkuudesta. (A & L Laboratory Inc)

### 7.5 LifeSaver®

LifeSaverin suodattimen reikien koko on 0,015 µm. Laitteen ensimmäisen koliformisten bakteereiden poistokykytestin näytteet olivat puhtaita, mutta toisen testin näytteet osoittivat huomattavaa koliformisten bakteereiden pitoisuutta käsitellyssä vedessä. Laitteen läpi suodatettiin koliformisista bakteereista vapaata vettä, jolloin tulokseksi saatiin  $12 \cdot 10^6$  pmy/100 ml koliformista bakteeria. Tämä on todella huolestuttava koliformisten bakteereiden pitoisuus. Kyseinen LifeSaver yksilö on luultavasti virheellinen.

Life Saverin kykeni poistamaan ammoniumia merkittävästi lähtövedestä. Humuksen poistoa indikoivien testien mukaan LifeSaver oli ylivoimaisesti paras poistamaan humusta. Kaikkien kolmen testin mukaan LifeSaver kykeni pienentämään lähtöveden humuspitoisuutta noin 60 %:a.

### **7.6 Katadyn Micropur Forte MF 1T**

Katadyn Micropur Forte MF 1T desinfioi koliformiset bakteerit vedestä täydellisesti, kun koliformisten bakteereiden pitoisuus oli 200 pmy/100ml. Ilman jatkuvaa sekoitusta tehdyn kineettisen kokeen lähtöveden koliformisten bakteereiden pitoisuus oli 170 000 pmy/100 ml, jolloin puolen tunnin käsittelyn jälkeen otetuissa näytteissä oli 2000 pmy/100 ml. Kyseisen testin perusteella puolen tunnin käsittely ei riitä puhdistamaan erittäin saastunutta vettä puhtaaksi koliformisista bakteereista, mutta jos samainen koejärjestely toteutetaan jatkuvalla sekoituksella on desinfiointi huomattavasti tehokkaampaa. Katadyn Micropur Forte MF 1T tabletin näyte sisälsi 3 mg/litra aktiivista klooria, mikä oli tutkituista menetelmistä alhaisin pitoisuus. Tabletin ilmoitetun vaikuttavan aineen pitoisuus oli myös testin tableteista pienin.

### **7.7 Aquaclear**

Aquaclear suoriutui koliformisten bakteereiden desinfioinnista täydellisesti. Aquaclearin yhden tabletin yhteen litraan liuettaman aktiivisen kloorin pitoisuudeksi määriteltiin 14 mg/l. Aktiivisen kloorin pitoisuus oli määrityksen toiseksi suurin jääden 6mg/l Vedenpuhdistustabletin määrästä. Aquaclearin vaikuttavan aineen määrä oli suurin sivun 35 vertailun mukaan (NaDCC 8.5 mg/tabletti).

### **7.8 Vedenpuhdistustabletti (Scotmas Limited)**

Scotmas Limitedin valmistama vedenpuhdistustabletti, (NaDCC 33mg/tabletti),

puhdisti bakteeripoistokykytestien vedet koliformisista bakteereista täydellisesti. Aktiivisen kloorin pitoisuus oli määrityksen mukaan tableteista suurin 20mg/l. Aktiivisen kloori määrityksen perusteella Vedenpuhdistustablettia on kaikkein tehokkain.

### **7.9 Aquatabs**

Aquatabs (NaDCC 17mg/tabletti) puhdisti bakteeripoistokykytestien vedet koliformisista bakteereista täydellisesti. Aktiivisen kloorin pitoisuus määrityksen mukaan; Aquatabsin aktiivisen kloorin pitoisuus oli 14 mg/l, kun tabletti liuotettiin litraan vettä. Aquatabs on ohjeiden mukaan tarkoitettu käsittelemään 0,6 litraa vettä, jolloin sen aktiivisen kloorin pitoisuus on 20 mg/l. Tällöin aktiivista klooria on sama pitoisuus käsiteltävässä vedessä kuin Vedenpuhdistustabletissa (Scotmas Limited).

### **7.10 Hiekkasuodatin**

Hiekkasuodatin kykeni poistamaan lähtövedestä koliformiset bakteerit vain osittain. Testi osoitti hiekkasuodatukseen perustuvan laitteen olevan tehoton menetelmä kaupallisten menetelmien tehokkuuteen verrattaessa.

### **7.11 Keittäminen**

Veden desinfiointi keittämällä osoittautui tehokkaaksi tavaksi. Kokeen perusteella keittäminen on vertailukelpoinen muihin menetelmiin.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tutkimusten perusteella voidaan todeta kaikkien työhön valittujen kaupallisten menetelmien, paitsi LifeSaverin, saavuttavan Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 461/2000 mukaiset talousveden mikrobiologiset laatuvaatimukset koliformisten bakteereiden osalta. LifeSaver-yksilössä katsottiin olevan virhe, mikä aiheutti bakteerikokeiden omituiset tulokset. Veden keittäminen saavuttaa saman asetuksen mukaisen tason. Kaupallisilla menetelmillä tai keittämällä käsitelty vesi on keskimääräistä kaivovettä puhtaampaa koliformisista bakteereista. Hiekkasuodatuksen perustuva menetelmä pystyy vain osittain poistamaan koliformisia bakteereita, eikä saavuta asetuksen mukaisia laatuvaatimuksia. Virtsan poistumista indikoineen ammoniumin poistokyvyn mittausten perusteella voidaan todeta LifeSaverin ja Katadyn Combin kyetneen poistamaan ammoniumia merkittävässä määrin. Humusta suodattavista menetelmistä merkittävästi kykeni poistamaan ainoastaan LifeSaver.

Aktiivisen kloorin pitoisuus vaihteli kemiallisten desinfiointimenetelmien välillä 3-20 mg/l käsitellyissä vesissä. Pitoisuus eroilla voidaan verrata menetelmien desinfiointikykyä. Aktiivisen kloorin suurella pitoisuudella voidaan katsoa olevan myös negatiivinen puoli. Raakavesi voi sisältää orgaanisia aineita, jotka reagoivat kloorilla desinfioidessa muodostaen epäpuhtauksia. Joki- ja järvivesi sisältävät paljon tällaisia aineita, kuten humusta. Klooridesinfioinnin yhteydessä syntyneiden epäpuhtauksien epäillään aiheuttavan pitkäaikaisessa altistumisessa terveyshaittoja. (J uomaveden desinfioinnin sivutuotteet ja terveyshaitat.)



## 9. YHTEENVETO

Tähän työhön valittiin yhdeksän markkinoilta saatavaa menetelmää puhdistaa vettä. Markkinoilta hankittujen menetelmien lisäksi kokeiltiin veden keittämisen tehokkuutta desinfioida vettä sekä työhön tehdyn hiekkasuodattimen tehokkuutta suodattaa vettä. Opinnäytetyön tavoitteen mukaiset kokeet veden käsittely menetelmille saatiin suoritettua. Kokeiden mukaan pystyttiin arvioimaan menetelmien bakteereiden poistokykyä sekä vaikutusta poistaa ammoniumia ja humusta. Kemiallisesti desinfioiville menetelmille tehdyn aktiivisen kloorin pitoisuuden määrittämisen perusteella pystyttiin arvioimaan menetelmien vaikutustehon eroavaisuuksia.

Koejärjestelyiden yhteydessä tutustuttiin myös työn tavoitteen mukaisiin veden laadun määrittämisessä käytettäviin analyyseihin.

## LÄHDELUETTELO

AQUACLEAR Galpharm käyttöohjeet

Aquatabs käyttöohjeet.

Binnie Chris & Kimber Martin. 2009. Basic water treatment Fourth edition. London UK: Thomas Telford Limited. ISBN 978-0-7277-3608-6

Onnettomuustutkintakeskus ,B2/2007. Puhdistetun jäteveden joutuminen talousvesiverkostoon Nokialla 28.–30.11.2007. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla <URL;[http://www. onnettomuustutkinta.fi/2575.htm](http://www.onnettomuustutkinta.fi/2575.htm)>

FOSS TECATOR Application Note. FIASTAR 5000. Laitteen oma ohje.

Hörman Ari, Ylipoistopaino. Assessment of the microbial safety of the drinking water produced from surface water under field conditions. 2005. Helsinki. ISBN 952-91-9103-0

Juomaveden desinfioinnin sivutuotteet ja terveyshaitat. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla <URL:[http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa\\_terveydesta/elinymparisto/vesi/talousvesi/desinfioinnin\\_sivutuotteet/](http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/elinymparisto/vesi/talousvesi/desinfioinnin_sivutuotteet/)>

Järvien, jokien ja merialueen vedenlaatu 2000–2003. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla<URL:<http://www.ymparisto.fi/default.aspcontentid=116017&lan=fi;>>

Katadyn Combi manual. [viitattu 13.4.2010]. Saatavana PDF -tiedostona: <URL:[http://katadynch.vs31.snowflakehosting.ch/fileadmin/user\\_upload/katadyn\\_products/Downloads/Manual\\_Katadyn\\_Combi\\_EN.pdf](http://katadynch.vs31.snowflakehosting.ch/fileadmin/user_upload/katadyn_products/Downloads/Manual_Katadyn_Combi_EN.pdf)>

Katadyn Micropur Forte MF 1T käyttöohjeet: [viitattu 13.4.2010]. Saatavana PDF-tiedostona

<URL:[http://katadynch.vs31.snowflakehosting.ch/fileadmin/user\\_upload/katadyn\\_products/Downloads/Factsheet\\_MicopurForteMF1T\\_EN.pdf](http://katadynch.vs31.snowflakehosting.ch/fileadmin/user_upload/katadyn_products/Downloads/Factsheet_MicopurForteMF1T_EN.pdf)>

Kulovaara Maaret. 1997 Tutkimuskohteena keltaruskeat vedet, FT Maaret Kulovaara Ympäristö ja terveys -lehti 9/1997, 28 vsk

LifeSaver® Botle user guide. [viitattu 13.4.2010]. Saatavana PDF-tiedostona  
<URL: <http://www.lifesaversystems.com/Instruction%20Manual.pdf>>

MSR® HyperFlo microfilter Owner's Manual. [viitattu 13.4.2010]. Saatavana PDF-tiedostona

<URL:[http://media.cascadedesigns.com/pdf/msr\\_hyperflow\\_microfilter\\_manual\\_en.pdf](http://media.cascadedesigns.com/pdf/msr_hyperflow_microfilter_manual_en.pdf)>

MSR MIOX® Purifier Instructions. [viitattu 13.4.2010]. Saatavana PDF-tiedostona:

<URL:[http://media.cascadedesigns.com/pdf/msr\\_miox\\_manual\\_en.pdf](http://media.cascadedesigns.com/pdf/msr_miox_manual_en.pdf)>

Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. 2006. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla

<URL:<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=62570&lan=fi>>

URL:ISBN: 952-11-2531-4, 952-11-2531-4 (PDF).

Julkaisu on saatavana myös painettuna ISBN 952-11-2530-6.

Purovettä raikkaampaa. 2007 Helmikuu. Retki. s. 12-21

Prescot, Lansing M. John P. Harley and Donald A. Klein, 1996, Microbiology Third Edition, ISBN 0-697-29390-4

SFS-käsikirja 94 suomen standardisoimisliitto SFS RY. 2003.  
ISBN 952-5420-15-9.

SFS 3036. 1981.Veden kemiallisen hapen kulutuksen ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$  -arvon tai  $\text{KMnO}_4$  -luvun) määrittäminen. Hapetus permanganaatilla. 2. p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1484. 1997. Water analysis – Guide for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC). Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS EN ISO 7393-2. 2000. Veden laatu. Vapaan kloorin ja kokonaiskloorin määrittäminen osa 2: Kolimetrinen menetelmä rutiinivalvontaan käyttäen N,N-DIETYYLI-1,4-FENYLEENIDIAMIINIA. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000 talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. 2001. Helsinki: Vesi- ja viemärilaitosyhdistys, Suomen Kuntaliitto.  
ISBN 952-5000-31-1.

Steripen Traveller User Guide. Saatavana PDF -tiedostona:  
<URL:[http://www.steripen.com/stuff/contentmgr/files/1/c6552f98b808cc851bac589524ee9a98/misc/classic\\_english.pdf](http://www.steripen.com/stuff/contentmgr/files/1/c6552f98b808cc851bac589524ee9a98/misc/classic_english.pdf)>

A & L Laboratory Inc, Testing of Steripen, a Portable Ultraviolet Light Water Purifier, Using MS-2 Coliphage in Challenge Test Waters According to U.S.E.P.A. Protocol. [viitattu 13.4.2010].  
<URL:[http://www.steripen.com/stuff/contentmgr/files/1/02ac755595468c5da0c8d224bef3c2db/misc/a\\_\\_\\_1\\_labs.pdf](http://www.steripen.com/stuff/contentmgr/files/1/02ac755595468c5da0c8d224bef3c2db/misc/a___1_labs.pdf)>

Vedenlaatukartta 2000-2003. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla  
<URL;<http://www.ymapristo.fi/default.asp?node=15739&lan=fi>>  
Vedenpuhdistustabletti (Scotmas Limited) käyttöohjeet.

Ammmoniumtyppi. Ympäristöhallinto. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla

<URL:<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12881&lan=fi>>

**Liite Natriumdikloori-isosyanuraatin rakennekuva ja siitä käytettyjä nimiä  
(Chemical Abstracts Services, Registry-tretukmete)**

L11 ANSWER 1 OF 1 REGISTRY COPYRIGHT 2010 ACS on STN  
 RN 2893-78-9 REGISTRY  
 ED Entered STN: 16 Nov 1984  
 CN 1,3,5-Triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione, 1,3-dichloro-, sodium salt (1:1)  
 (CA INDEX NAME)  
 OTHER CA INDEX NAMES:  
 CN 1,3,5-Triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione, 1,3-dichloro-, sodium salt (9CI)  
 CN s-Triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione, 1,3-dichloro-, sodium salt (8CI)  
 OTHER NAMES:  
 CN 3,5-Dichloro-2-hydroxy-4,6-s-triazinedione sodium salt  
 CN ACL 56  
 CN ACL 60  
 CN Actisan  
 CN Basolan DC  
 CN CDB 63  
 CN CDB Clearon  
 CN Clearon  
 CN Clearon CDB  
 CN Clearon CDB 56  
 CN Crente  
 CN DICD-G  
 CN Dichloro-s-triazinetriene sodium salt  
 CN Dichloroisocyanuric acid sodium salt  
 CN Dichlosia  
 CN Dikonit  
 CN Fi Clor 60S  
 CN Fi Clor Clearon  
 CN Fichlor  
 CN Hi-Lite 60C  
 CN Hi-Lite 60G  
 CN Hi-Lite G 60GW  
 CN Hidrosan  
 CN Izosan G  
 CN Jundujing  
 CN Neochlor 55  
 CN Neochlor 60G  
 CN Neochlor 60M  
 CN Neochlor 60MG  
 CN Neochlor 60P  
 CN Oniachlor 60  
 CN Oxidan DCN/WSG  
 CN Presept  
 CN Prisept  
 CN SDIC 60P  
 CN SDIC-MG  
 CN Simpla  
 CN Sodium dichlorisocyanurate  
 CN Sodium dichlorocyanurate  
 CN Sodium dichloroisocyanurate  
 CN Sumaveg

CN Surchlor GR 60  
CN Vac Attack  
DR 12676-23-2, 13023-28-4, 10119-30-9, 25717-18-4, 16499-74-4,  
76560-28-6,  
81918-50-5, 200401-83-8  
MF C3 H C12 N3 O3 . Na  
  
CRN (2782-57-2)

